



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



MECHANISMUS ODPRUŽENÍ RÁMU SJEZDOVÉHO KOLA

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Kryštof Jetmar**
Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Pavel Němeček





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

SUSPENSION MECHANISM OF DOWNHILL BICYCLE

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering
Author: **Kryštof Jetmar**
Supervisor: doc. Dr. Ing. Pavel Němeček



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení:

Kryštof J E T M A R

Studijní program:

B2301 Strojní inženýrství

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

MECHANISMUS ODPRUŽENÍ RÁMU SJEZDOVÉHO KOLA

Zásady pro vypracování:

(uvedte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Popište současný stav v odpružení rámu sjezdových kol v kontextu historického vývoje horské cyklistiky.
2. Navrhněte rám s optimalizovanou geometrií a systémem odpružení.
3. Konstrukční návrh zevšeobecněte s přihlédnutím k osobě cyklisty.
4. Navrhovaná řešení zhodnoťte.



Forma zpracování bakalářské práce:

Průvodní zpráva - v rozsahu cca 40 stran textu, vč. příloh.

K tištěným svazkům originálu bakalářské práce bude přiložena výkresová dokumentace.

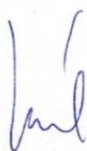
Text celé bakalářské práce včetně příloh, výkresů a souvisejících souborů bude v elektronické formě přiložen na CD nosiči k tištěnému svazku originálu bakalářské práce.

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

1. Cibula, Karel. Mechanika jízdního kola. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004.
2. Ševeček, Jan. Porovnání kompozitních a tradičních materiálů používaných v cyklistickém průmyslu. Bakalářská práce. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ustav materiálových věd a inženýrství, 2011.
3. Embacher, Michael. Cyklopedie. Praha : Slovart, 2011.
4. Konvičková, Svatava a Valenta, Jaroslav. Biomechanika kloubů člověka a jejich náhrad. Praha : Viena, 2000.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Pavel Němeček - TU v Liberci, KVM

Konzultant bakalářské práce: Ing. Josef Popelka - TU v Liberci, KVM



Ing. Robert Voženílek, Ph.D.

vedoucí katedry



doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.

děkan

V Liberci dne 1. 11. 2013

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce, doc. Dr. Ing. Pavlu Němečkovi za konstruktivní kritiku a přínosné a cenné rady k vypracování.

Dále bych rád poděkoval celé své rodině za jejich trpělivost a podporu nejen v průběhu psaní této práce, ale také po celou dobu mého studia.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá odpružením rámu jízdního kola. V první části je čtenář blíže seznámen s problematikou mechanismu odpružení rámu. Práce popisuje současný stav i historický vývoj. Další část práce se zabývá konstrukčním návrhem rámu sjezdového kola. Nakonec je konstrukční návrh porovnán s jinými prodávanými rámy.

Klíčová slova:

Jízdní kolo, Rám, Odpružení, Sjezd, 3D CAD

Annotation

This bachelor thesis deals with the suspension of bicycles frame construction. In the theoretical part, the reader is informed about the problematic of construction suspension mechanism. The thesis describes current status as well as the historical evolution. The practical part of this thesis deals with the construction design of downhill bikes. In the end, the engineering design is being compared to other constructions.

Keywords:

Bicycle, Frame, Suspension, Downhill, 3D CAD

Obsah

1	Úvod	9
2	Základní rozdělení cyklistických disciplín	10
2.1	Silniční cyklistika.....	10
2.2	Horská cyklistika.....	11
2.2.1	Cross-country	11
2.2.2	Enduro.....	12
2.2.3	Sjezd	13
3	Historie jízdního kola	14
4	Historie horské cyklistiky.....	16
5	Odpružení horských kol	18
5.1	Odpružení předního kola	18
5.2	Zavěšení a odpružení zadního kola	19
5.2.1	Jednočepové zavěšení zadního kola	19
5.2.2	Jednočepové zavěšení zadního kola s přepákováním	20
5.2.3	Mnohočepové zavěšení zadního kola.....	20
5.2.3.1	FSR	21
5.2.3.2	VPP	21
5.2.3.3	Paralelogramové zavěšení	22
5.2.4	Používané pružící a tlumící jednotky	22
6	Shrnutí současného stavu	24
7	Vlastní návrh sjezdového rámu.....	25
7.1	Cíle návrhu	25
7.2	Požadavky na sjezdový rám	25
7.3	Parametry optimalizace	26
7.4	Rozměry kol.....	26
7.5	Geometrie rámu.....	27
7.5.1	Návrh základních rozměrů rámu	28

7.5.2	Zobecnění navrhované geometrie	29
7.6	Odpružení rámu.....	30
7.6.1	Linkage.....	30
7.6.2	Požadované vlastnosti odpružení	30
7.6.3	Volba mechanismu odpružení	32
7.6.4	Optimalizace mechanismu.....	32
8	Konstrukční řešení rámu.....	35
8.1	Přední rámový trojúhelník.....	36
8.2	Zadní stavba.....	36
8.3	Vahadla	37
8.4	Pohyblivá spojení	37
9	Hodnocení navrhovaného řešení	39
9.1	Sag.....	39
9.2	Porovnání s vybranými rámy	39
9.2.1	GT Fury	39
9.2.1.1	Geometrie.....	39
9.2.1.2	Odpružení.....	40
9.2.2	Specialized Demo.....	40
9.2.2.1	Geometrie.....	40
9.2.2.2	Odpružení.....	41
9.2.3	AGang Ninja DH	41
9.2.3.1	Geometrie.....	42
9.2.3.2	Odpružení.....	42
9.2.4	Tabulky celkového srovnání	43
10	Model rámu sjezdového kola v programu SolidWorks	44
11	Závěr.....	45
12	Seznam použité literatury	46

1 Úvod

V současné době je horská cyklistika stále populárnější. Díky rostoucímu zájmu o tento sport prochází i používaná kola neustálým vývojem. Příznivce této sportovní aktivity nalezneme nejen v řadách profesionálních závodníků, ale také mezi rekreačními jezdci.

I já jsem se v minulosti věnoval cyklistice pouze rekreačně, nyní však již osm let závodím ve sjezdu na horském kole. Za tuto dobu jsem vystřídal mnoho různých kol, počínaje koly s pevným rámem až po sjezdové speciály, čímž jsem získal praktické zkušenosti. Jako jezdec vím, co od kola očekávám a požaduji. To mě vedlo k úvahám o vytvoření sjezdového rámu, který by splňoval mé požadavky. Bohužel nemám dostatečné prostředky pro skutečnou realizaci mých nápadů. Rozhodl jsem se tedy vytvořit alespoň jeho návrh prostřednictvím této bakalářské práce.

V prvních kapitolách seznámím čtenáře se základními cyklistickými disciplínami a používanými jízdními koly a popíši nejpoužívanější mechanismy odpružení. Dále se zmíním o historii jízdních kol a horské cyklistiky.

V další části se zaměřím na vlastní návrh rámu sjezdového kola. Definuji požadavky na odpružení a pokusím se jim přiblížit pomocí vhodné konstrukce. Poté vytvořím 3D model celého rámu v programu SolidWorks 2012. Nakonec se pokusím porovnat navrhované řešení s jinými na trhu dostupnými rámy.

2 Základní rozdělení cyklistických disciplín

2.1 Silniční cyklistika

Silniční cyklistika je klasická disciplína, která se zrodila již na samém počátku vývoje jízdních kol. Již od počátku cyklistiky byla nejvíce proslavena pořádáním závodů. První silniční cyklistický závod se konal v roce 1868 na trase mezi Paříží a Rouenem. Tehdy se ještě závodilo na vysokých kolech. Silniční cyklistika se provozuje pouze na cestách s asfaltovým nebo dlážděným povrchem. Silniční kola se nejlépe hodí pro překonávání velkých vzdáleností. [5]



Obr. 1: Silniční kolo [8]

Používaná kola jsou konstruována zejména s ohledem na nízkou hmotnost a maximální efektivitu pohonu. Vzhledem k tomu se na silničních kolech nepoužívá odpružení jako na horských kolech. Jízdní komfort je zajištěn pouze pružícími a tlumícími vlastnostmi pneumatik.

Tabulka 1: Základní parametry silničních kol

průměr kol ["]	šířka pneumatik ["]	hmotnost [kg]	zdvih odpružení [mm]
28	0,8 – 1,1	5 - 10	žádný

2.2 Horská cyklistika

Horská cyklistika, neboli mountain biking (MTB), je odvětví cyklistiky, které vzniklo v 70. letech minulého století ve Spojených státech amerických (viz kapitola 4). Rozdíl oproti silniční cyklistice spočívá v tom, že se jízda na kole provozuje mimo zpevněné cesty. Za 40 let vývoje se horská cyklistika poměrně rozvinula a vzniklo několik disciplín. Jejich základní rozdělení je popsáno v následujících kapitolách.

2.2.1 Cross-country

Cross-country (zkráceně XC) je anglický název pro nejrozvinutější odvětví horské cyklistiky. Má mnoho příznivců v řadách rekreačních jezdců i závodníků.

Závody v této disciplíně probíhají na okruzích, které vedou převážně po nezpevněném povrchu. Například tratě českého poháru mohou vést po asfaltovém nebo dlážděném povrchu maximálně 15 % ze své délky [6]. Startuje se hromadně, délka trati není striktně dána a pohybuje se v rozmezí od několika kilometrů po desítky kilometrů.



Obr. 2: XC kolo s předním i zadním odpružením a 29" koly[8]

Používaná kola se do značné míry liší od kol silničních. Vzhledem k terénu, na kterém se jezdí, jsou vybavena odolnějšími komponenty a odpružením. Téměř vždy bývá přední odpružení realizováno teleskopickou vidlicí. Rám může a nemusí být odpružený. Odpružení rámu i vidlice je někdy možné uzamknout a tím dosáhnout efektivnějšího pohonu například při delších stoupáních. Dále se používají širší a rovná řídítka pro lepší

ovladatelnost. Brzdy bývají kotoučové mechanicky nebo hydraulicky ovládané. Průměr brzdových kotoučů je nejčastěji 160 mm. Pneumatiky jsou širší, aby lépe pohlcovaly vibrace a rázy a jsou opatřeny hrubším vzorkem pro lepší trakci. I přes to je u XC kol kladen důraz na nízkou hmotnost a efektivitu pohonu. Proto se volí optimální poměr mezi hmotnostmi, komfortem a jízdními vlastnostmi.

Ještě poměrně nedávno se u horských kol všech typů používala kola o průměru 26". V současné době je ale trend takový, že se průměry kol zvětšují, nejvíce pak u XC kol. Průměr kol se začíná ustalovat na 29". Více o rozměrech kol v kapitole 7.4.

Tabulka 2: Základní parametry XC kol

průměry kol ["]	šířka pneumatik ["]	hmotnost [kg]	zdvih odpružení [mm]
26; 27,5; 29	1,8 – 2,3	8 – 13	80 – 120

2.2.2 Enduro

Enduro je mladá a v současnosti nejrychleji se rozvíjející disciplína horské cyklistiky. V podstatě se jedná o kombinaci cross-country a sjezdu. Závodění v této disciplíně spočívá v co nejrychlejším průjezdu měřených úseků, které vedou převážně z kopce. Jejich délka bývá zpravidla několik kilometrů. Poté co závodník projede tuto tzv. rychlostní zkoušku, musí se vlastními silami přesunout na start dalšího měřeného úseku. Na tento přesun bývá dán časový limit. Vyhrává jezdec, který projede všechny měřené úseky v součtu v nejrychlejším čase. Často se jezdí takzvaně „na oči“, to znamená, že jezdec není předem seznámen s tratí a neví, co ho čeká za další zatáčkou.



Obr. 3: Kolo určené pro enduro [8]

Kola určená pro enduro kombinují prvky XC kol a kol určených pro sjezd. Jsou konstruována s ohledem na vyšší zatížení a pro lepší ovladatelnost. Geometrie rámu se blíží geometrii sjezdového rámu, aby byla zajištěna lepší stabilita v náročném a technickém terénu. Odpružené bývá přední i zadní kolo se zdvihem okolo 150 mm. Vzhledem k univerzálnímu použití kol je možné odpružení uzamknout a snadno tak překonat delší vzdálenosti. Některá starší enduro kola měla standardní kola o průměru 26". Dnes se nejčastěji používají kola průměru 27,5" a výjimečně i 29". Na kolech se používají hydraulicky ovládané kotoučové brzdy s kotouči o průměru 180 mm.

Tabulka 3: Základní parametry enduro kol

průměry kol ["]	šířka pneumatik ["]	hmotnost [kg]	zdvih odpružení [mm]
26; 27,5; 29	2,1 – 2,5	11 – 15	120 – 180

2.2.3 Sjezd

Sjezd na horských kolech bývá anglicky označován jako downhill (DH). Tato disciplína spočívá v co nejrychlejší projetí technicky velmi náročné trati, která vede pouze z kopce. Její délka bývá v rozmezí 1 – 5 km s převýšením několika stovek metrů. Trať je tvořena přírodními nerovnostmi, kameny a kořeny. Často je doplněna o umělé překážky v podobě skoků a klopených zatáček, pro zvýšení atraktivity.



Obr. 4: Sjezdové kolo [8]

Sjezdová kola jsou tedy určena výhradně pro cestu z kopce v náročném terénu. Tomu odpovídá i specifická geometrie rámu. Přední odpružená vidlice je více naklopená aby

jezdec neměl tendenci přepadávat přes řídítka. Rozvor kol je o něco delší, což zajišťuje vyšší stabilitu. Posed jezdce je naopak o něco nižší – pod úrovní řídítek. Nejdůležitější součástí sjezdového kola je odpružení. Zdvih bývá nejméně 200 mm. Kola mají průměr 26", ale v současnosti se již objevují první modely na 27,5" kolech. Pneumatiky mají hrubý vzorek, pro maximální trakci na nezpevněném povrchu jako je prach, kamení nebo bahno. Samozřejmostí jsou také účinné kotoučové brzdy, které jsou ovládané hydraulicky. Brzdové kotouče mají nejčastěji průměr 203 mm a výjimečně 180 mm.

Tabulka 4: Základní parametry sjezdových kol

průměry kol ["]	šířka pneumatik ["]	hmotnost [kg]	zdvih předního odpružení [mm]	zdvih zadního odpružení [mm]
26; 27,5	2,2 – 2,7	15 – 20	203	200 a více

3 Historie jízdního kola

Historie jízdního kola sahá dále, než bychom si možná mysleli. První stroje podobné dnešnímu kolu byly objeveny na kresbách starověkých civilizací. Nejstarší zmínka pochází ze Sumerské říše z období kolem roku 2500 př. n. l.. Také v Egyptě byly nalezeny důkazy o vynálezu připomínajícím dnešní kolo, a to konkrétně na nástěnných malbách uvnitř Tutanchamonovy hrobky z roku kolem 1330 př. n. l.. Jednalo se ale spíše o odstrkovadlo a pohon pedály, jaký známe dnes, se objevil až mnohem později. [7]

V roce 1966 byl při restaurování rukopisu Leonarda da Vinciho objeven náčrtek, který výrazně připomínal dnešní jízdní kolo, a to zejména svojí koncepcí. Da Vinciho stroj měl dvě kola stejného průměru, sedlo nad zadním kolem a řídítka ovládající přední kolo. Nejzajímavější byl ovšem pohon, který byl téměř totožný s dnešním provedením. Jednalo se o klasickou koncepci s klikami s pedály umístěnými mezi oběma koly. Pomocí řetězového nebo řemenového převodu byl přenášen výkon na zadní kolo. Tento vynález nebyl dále rozvíjen a nejspíše ve své době ani nebyl zkonstruován.



Obr. 5: Replika původního da Vinciho návrhu [9]

Za skutečného předchůdce současných jízdních kol je tedy považován vynález Francouze Médé de Sivraca. Jeho „běhací stroj“ byl vcelku jednoduchý – dvě kola spojená nosníkem, na kterém se obkročmo sedělo a jezdec se odrážel nohama od země. V roce 1817 tento stroj vylepšil baron Karl Friedrich Drais. Přidal řízení předního kola. Tuto koncepci pojmenoval draisina a nechal ji patentovat.



Obr. 6: Draisina přibližně z roku 1840 [10]

Nejpodstatnějším prvkem současných jízdních kol je bezpochyby pohon. První kolo, které nebylo poháněno odstrkováním jezdce od země, sestavil v roce 1839 skotský kovář Kirkpatrick Macmillan. Jeho pohon sestával z pedálů umístěných na svisle uložených pákách. Kývavý pohyb pedálů se přenášel přes klikový mechanismus na zadní kolo.

Ovšem skutečná výroba jízdních kol začíná ve Francii. V roce 1861 tu stavitel kočárů Pierre Michaux vyrobil kolo, které mělo kliky s pedály připevněné přímo k přednímu kolu a nazval ho velocipéd. V dalších letech postavil obdobný model s větším předním kolem.

Velocipéd se stal velmi populárním a nastal velký rozvoj cyklistiky, což mělo za následek řadu inovací, které tehdejší kola přiblížily těm současným. Mezi nejvýznamnější patřil určitě náboj s kuličkovými ložisky, vypletené kolo, pneumatiky nebo volnoběh.

Po Prusko-francouzské válce se centrem dalšího rozvoje stává Británie. Kola byla tehdy populární zejména z důvodu své rychlosti. Právě rychlost byla důvodem, proč se neustále zvětšoval průměr poháněného kola. Kličky s pedály byly stále pevně spojené s předním kolem a zvětšování průměru kola byla jediná možnost, jak dosáhnout vyšších rychlostí. Tato kola, i když velmi populární pro svůj impozantní vzhled, měla ovšem spoustu nevýhod vycházejících právě z velkého průměru předního kola. Pro vyšší účinnost šlapání seděl jezdec přímo nad ním. Soustava kola a jezdce měla těžiště poměrně vysoko a to mohlo mít za následek ztrátu stability. Nebezpečné bylo i prudší brždění nebo terénní nerovnosti, kdy jezdec snadno přepadl přes přední kolo.

Jako bezpečná alternativa přichází kolo Rover Safety, které v roce 1885 v Anglii vyrobil John Kemp Starley. Tento bicykl byl svou koncepcí už velmi podobný současným kolům. Byl poháněn řetězovým převodem, díky němuž bylo možné zvolit vhodný převodový poměr. Kola Roveru Safety měla rozumný průměr, což umožnilo použití účinnějších brzd a další rozvoj cyklistiky. [1]



Obr. 7: Rover Safety [11]

Koncepce v současnosti používaných kol zůstala stejná, jako tomu bylo u kola Rover Safety – tedy obě kola o stejném průměru a pohon řetězovým převodem.

4 Historie horské cyklistiky

Až do 70. let minulého století byla jízdní kola určena spíše pro jízdu po zpevněných cestách. To se rozhodlo změnit až několik nadšenců z Kalifornie. V roce 1973 se Gary

Fischer a Joe Breeze poprvé vydávají na horu Tamalpais. Výjezd na horu je náročný a místy musí kola tlačit. Poté se pouští dolů po neupravených štěrkových cestách. Zážitek z jízdy dolů byl vzrušující, což je přinutilo si jízdu zopakovat. Pro tyto sjezdy si vybrali poměrně stará kola Schwinn Cruiser vyráběná ve 40. letech 20. století. Na těchto kolech jezdili hlavně kvůli jejich robustní konstrukci připomínající motocykl a širokým pneumatikám. Aby snížili hmotnost, demontovali vše nepotřebné, jako například blatníky nebo kryt řetězu. Nevýhodou Schwinn Cruiseru ovšem bylo, že měl pouze zadní brzdu ovládanou šlápnutím pedály dozadu.

V roce 1976 byly uspořádány první závody, pro které se vžil název „repack“ a kde podobní nadšenci mohli porovnat své dovednosti. Tehdy se používala kola pouze se zadní brzdou v náboji kola. Při dlouhém sjezdu se v náboji začalo pálit mazivo. Po takovém sjezdu bylo nutné náboj rozdělat a provést repasi. Odtud vznikl název „repack“ neboli znovu naplnit. Závodilo se poměrně často, zhruba každé dva nebo tři týdny. To mělo za následek rychlý rozvoj horské cyklistiky a zejména vývoj používaných kol. Závodníci přicházeli s celou řadou vylepšení, která byla inspirována anebo přímo převzata z tehdejších terénních motocyklů. Na svá kola z nich například montovali řídítka nebo brzdové páky. Značnou část vylepšení měl na svědomí i Gary Fischer, který například připevnil řazení přehazovačky na řídítka. Doposud bylo řazení připevněno na rámu a změna převodů při jízdě z kopce byla nebezpečná.

Velkým průkopníkem a hlavně popularizátorem nově vznikajícího trendu je Charles Kelly. Jeho články v amerických cyklistických magazínech mají velký úspěch. V roce 1981 Kelly dokonce zakládá vlastní časopis s názvem „Fat Tire Flyer Magazine“.

Postupem času se jízda na horských kolech začala šířit mezi stále více lidmi, kteří si užívali jízdu na kole daleko od zastavěných městských oblastí. Přišel rychlý rozvoj a rozšíření této aktivity. Horská kola se stala snadno dostupná. Pořádalo se stále více závodů, které nevedly pouze z kopce jako u slavného závodu „repack“. [2]

Na přelomu 80. a 90. let se sjezd běžně jezdil jako doplňková disciplína cross-country závodů. Postupně se ale tratě určené pro sjezd stávaly náročnější. Ubývaly rovinaté pasáže a přibývaly technické pasáže nebo skoky. V průběhu 90. let se sjezd začíná osamostatňovat a jezdci se na tuto disciplínu začínají specializovat a s tím je spojen i následný rozvoj kol určených pro sjezd. Vznikají první celoodpružená kola.

5 Odpružení horských kol

S rostoucí obtížností tratí bylo potřeba vytvořit kola, která jezdci zajistila větší komfort a hlavně jejich ovladatelnost a bezpečnost. První návrhy odpružení vznikaly již v 19. století, ale moc se neuchytily. Zejména z důvodu konstrukční náročnosti a také proto, že tehdy ani nebylo odpružení tolik potřeba. Jízdní komfort dostatečně zajišťovaly pružící a tlumící vlastnosti pneumatik.

5.1 Odpružení předního kola

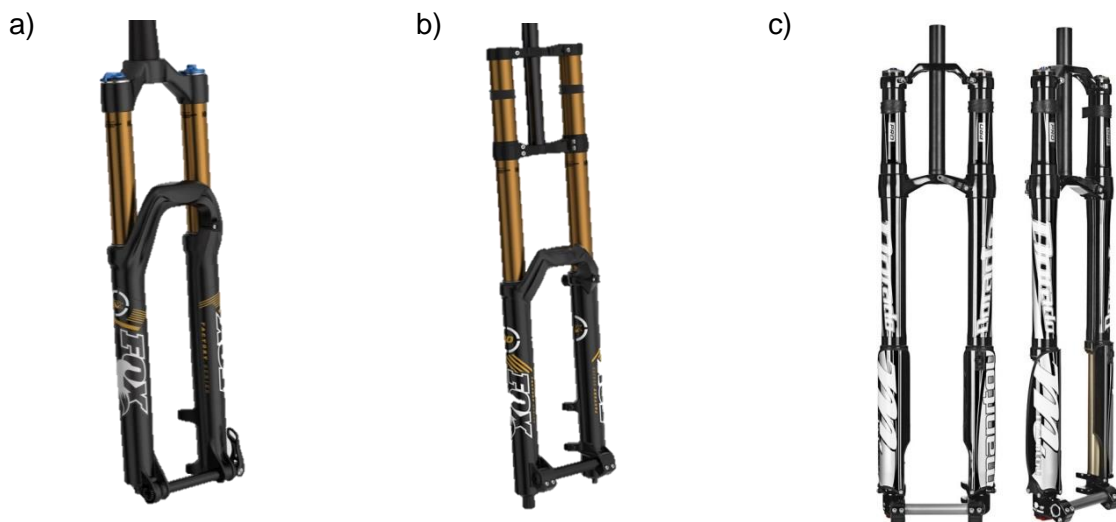
Odpružení předního kola je často používané i na kolech s pevným rámem. V současnosti je téměř jedinou používanou koncepcí teleskopická odpružená vidlice, ke které je uchyceno přední kolo a současně je otočně uložena v rámu. Teleskopická vidlice sestává z tlumící a pružící jednotky vestavěné uvnitř vidlice.

Nejčastěji používané pružící jednotky jsou pružinové. Jedná se o tlačnou šroubovitě vinutou pružinu. Tyto pružiny se nejčastěji zhotovují z oceli anebo z titanu, který se vyznačuje zejména nižší hmotností při zachování stejné tuhosti pružiny. V současné době jsou na vzestupu i pneumatické pružící jednotky. Ty se vyznačují nízkou hmotností a vyšší konstrukční náročností, což je spojeno s vyšší cenou.

Rozlišujeme několik základních druhů předních odpružených vidlic.

- a) Jednkorunková vidlice má vnitřní nohy spojené se sloupkem řízení pouze jedním můstkem neboli korunkou. Tato koncepce je všeobecně nepoužívanější. Vyznačuje se nižší hmotností, ale zároveň nižší tuhostí. Tuhost je ovšem dostačující pro disciplíny jako cross-country nebo enduro. Zdvih jednkorunkových vidlic bývá maximálně 180 mm a jejich hmotnost bývá v rozsahu od 1,3 do 3 kg.
- b) Dvukorunková vidlice má vnitřní nohy spojené se sloupkem řízení dvěma korunkami. Tím je zajištěna maximální tuhost vidlice, což je ovšem spojeno s její vyšší hmotností. Tato koncepce se díky své odolnosti a tuhosti používá na kolech určených pro náročné disciplíny jako je sjezd. Zdvih dvukorunkových vidlic se ustálil na 8" respektive 203 mm a jejich hmotnost se pohybuje okolo 3 kg.

- c) Obě výše uvedené vidlice mohou být také v provedení „upside down“. To znamená, že vnitřní nohy vidlice jsou umístěny ve spodní části. Tato koncepce má původ u terénních motocyklů. Její výhody jsou v podobě nižší neodpružené hmotnosti. Dále dochází k menšímu znečišťování vnitřních nohou nečistotami uvolněnými z pneumatik během jízdy. Nevýhodou je ovšem nízká torzní tuhost, která je způsobena absencí můstku spojujícího nohy vidlice.



Obr. 8: Používané přední odpružené vidlice [12], [13]

5.2 Zavěšení a odpružení zadního kola

Odpružení zadního kola bývá realizováno mechanismem, který převádí vertikální pohyb zadního kola na tlumící a pružící jednotku (dále jen tlumič). Zadní kolo je zavěšeno ve vidlici, neboli v zadní stavbě rámu (dále jen stavba). Ta se může skládat z jedné i více součástí. Podle počtu součástí a spojujících kloubů – čepů rozlišujeme 3 základní koncepce.

5.2.1 Jednočepové zavěšení zadního kola

Jedná se o nejjednodušší provedení. Zadní stavba tvoří jeden celistvý díl a je k přední části rámu uchycena otočně v jediném bodě. Osa zadního kola tedy opisuje kružnici. Tlumič pohyblivě spojuje stavbu a přední část rámu.



Obr. 9: Orange 322 [14]

Výhody:

- jednoduchá konstrukce
- torzní tuhost

Nevýhody:

- téměř lineární charakteristika odpružení

5.2.2 Jednočepové zavěšení zadního kola s přepákováním

Zavěšení zadního kola je realizováno stejně, jako tomu bylo u předchozí koncepce. Zadní stavba opět tvoří jediný celistvý díl a je otočně upevněna k přední části rámu. Rozdíl je v přenesení síly na tlumič. K převedení pohybu zadní stavby na tlumič je totiž použito další přepákování tvořené nejčastěji dvěma součástmi. Mechanismus přepákování může ještě více zvyšovat torzní tuhost rámu.

Výhody:

- progresivnější charakteristika odpružení
- torzní tuhost

Nevýhody:

- složitější konstrukce



Obr. 10: Saracen Myst [15]

5.2.3 Mnohočepové zavěšení zadního kola

Tento způsob zavěšení zadního kola je konstrukčně nejsložitější. Osa zadního kola se v tomto případě pohybuje po obecné křivce. Existuje mnoho provedení mnohočepového zavěšení. Nejčastěji je tvořeno čtyřmi čepy, které spojují 3 členy mechanismu a přední část rámu. Jednotlivá provedení se liší zejména rozměry a umístěním součástí mechanismu anebo uložením tlumící a pružící jednotky.

Výhody:

- progresivnější charakteristika odpružení
- virtuální pól pohybu

Nevýhody:

- složitější konstrukce
- nižší torzní tuhost

V následujících kapitolách jsou uvedeny nejpoužívanější čtyřčepová zavěšení zadního kola.

5.2.3.1 FSR

FSR (Future Shock Rear) je mechanismus zavěšení zadního kola používaný americkou firmou Specialized. Vychází z původního zavěšení zvaného Horst Link. V různých podobách je ale tento systém používán řadou dalších výrobců. Část zadní stavby, v níž je uloženo zadní kolo, je k přední části rámu uchycena dvěma dalšími součástmi a vykonává obecný pohyb.



Obr. 11: Specialized Status [16]

5.2.3.2 VPP

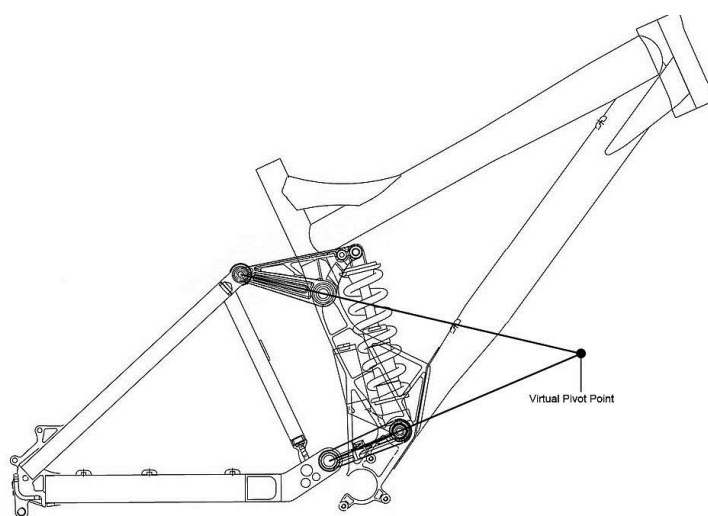
VPP neboli Virtual Pivot Point je mechanismus, který používá firma Santa Cruz. Jak již název napovídá, jedná se o mechanismus s virtuálním bodem otáčení. Tento mechanismus sestává z celistvé zadní stavby, která je s přední částí rámu spojena dvěma menšími pákami. Tlumičí a pružící jednotka bývá uchycena mezi přední část rámu a jednu z pák.



Obr. 12: Santa Cruz V10 Carbon [17]

5.2.3.3 Paralelogramové zavěšení

Zadní stavba opět tvoří celistvý díl, který je dvěma pákami pohyblivě spojen s přední částí rámu, což tvoří tvar čtyřúhelníku. Nejedná se sice o přesný paralelogram neboli rovnoběžník, ale historicky zažitý název se používá stále. Tento způsob zavěšení zadního kola je v principu podobný systému VPP. Rozdíl je pouze ve smyslu otáčení horní páky mechanismu, která pojí přední část rámu a zadní stavbu.

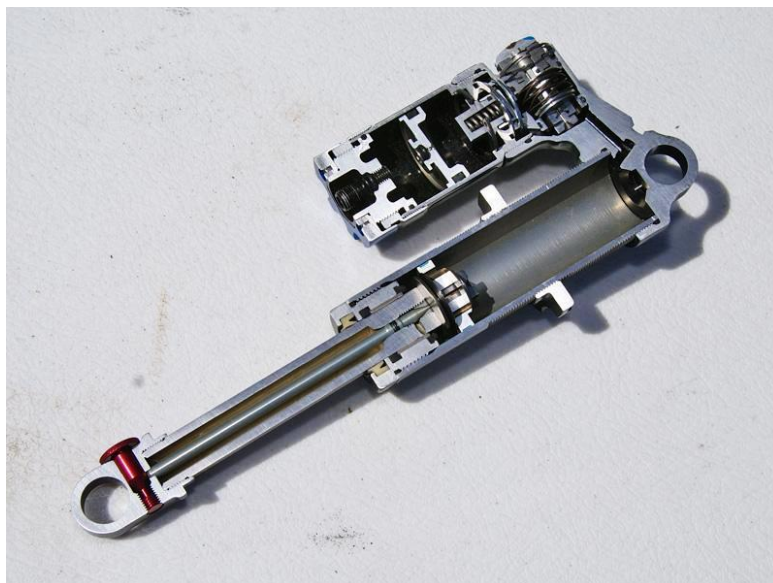


Obr. 13: Iron Horse Sunday [18]

5.2.4 Používané pružící a tlumící jednotky

Pro sjezdové rámy se téměř výhradně používají plynokapalinové tlumiče. Ty absorbují pohybovou energii pomocí kapalinového tření. Ke tření dochází v soustavě škrtkových ventilů. Pracovní kapalina je udržována pod tlakem pomocí stlačeného plynu, který je od ní oddělen membránou nebo častěji volně pohyblivým pístem. Nejčastěji používanými

plyny jsou dusík nebo vzduch. Tlak plynu se pohybuje okolo 1 MPa a zajišťuje, že nedochází k pění kapaliny, které může mít za následek nízkou efektivitu tlumiče nebo v extrémním případě kavitaci.



Obr. 14: Řez tlumicí jednotkou Fox DHX RC4 [19]

U tlumičů vyšších cenových kategorií je možné měnit externě jejich následující vlastnosti:

- Velikost útlumu při zpětném pohybu tlumiče.
- Velikost útlumu při stlačování tlumiče. Většinou je možné zvlášť nastavit reakci tlumiče na rychlé nebo pomalé stlačování.
- Tlak plynu ve vyrovnávací komoře.
- Velikost vyrovnávací komory, čímž lze ovlivnit progresivitu pružení.

Používají se dva druhy pružin, pro které jsou tlumiče konstruovány.

- a) Tlačná šroubovitě vinutá pružina – bývá zhotovena z oceli nebo titanu. Na obou koncích je opatřena závěrnými závity, které jsou zarovnané do roviny, aby byl zajištěn rovnoměrný přenos sil na opěrné plochy. Stoupání pružiny bývá konstantní a její charakteristika lineární.

- b) Pneumatická pružina – je tvořena uzavřenou komorou naplněnou stlačeným plynem, nejčastěji vzduchem. Dvoukomorový systém s negativní pneumatickou pružinou redukuje sílu předpětí způsobeného přetlakem plynu v komoře. Charakteristika této pružiny není lineární.

a)



b)



Obr. 15: Druhy pružících jednotek [12], [20]

6 Shrnutí současného stavu

Dnes je trend vývoje takový, že se všichni výrobci snaží co nejvíce snížit celkovou hmotnost jízdních kol. Tento trend souvisí s rychlým rozvojem nových zejména kompozitních materiálů, které jsou stále dostupnější. Přesto je celková odolnost kol a jejich komponentů spíše na stejné úrovni než horší. Jejich složitější konstrukce vyžaduje častější a složitější servis a obnáší zvýšené riziko poruch. V některých případech mají komponenty jízdních kol charakter spotřebního zboží, což je vzhledem k jejich vysokým cenám nesmyslné.

Dalším trendem ve vývoji jízdních kol je jejich vzhled. S novými materiály a vývojem technologií výroby lze dosáhnout nejrůznějších tvarů. To je spojeno zejména s marketingovou strategií výrobců, kteří rychle pochopili, že atraktivní design snadno přiláká potenciálního zákazníka.

Problém téměř všech současných odpružených rámu je nedostatečná progresivita odpružení. S tímto problémem jsem se setkal jak u sjezdových, tak u XC nebo enduro kol.

Při navrhování vlastního sjezdového rámu se tedy pokusím vytvořit jednoduchou konstrukci, která bude nenáročná na servis. Zaměřím se na progresivitu odpružení a současně bych chtěl dosáhnout atraktivního designového provedení.

7 Vlastní návrh sjezdového rámu

7.1 Cíle návrhu

Cílem návrhu je vytvořit 3D model sjezdového rámu. Tento rám bude mít základní geometrické parametry navrženy podle mých dosavadních zkušeností a tělesných proporcí. Dále se zaměřím na mechanismus odpružení tohoto rámu. Cílem bude navrhnout charakteristiku odpružení a poté se ji pokusit vytvořit pomocí volby mechanismu odpružení a jeho rozměrů.

7.2 Požadavky na sjezdový rám

Jak jsem již uváděl, sjezd patří mezi disciplíny s vysokými požadavky na odolnost používaných kol. Téměř všechny komponenty sjezdového kola jsou určitým způsobem modifikovány. Buď aby byla zajištěna jejich životnost a tím i bezpečnost jízdy, anebo pro lepší ovladatelnost.

a) Pevnost

Pevnost rámu je jedna z jeho nejdůležitějších vlastností. Nemělo by dojít k porušení soudržnosti rámu ani při tvrdých dopadech.

b) Tuhost

Pro sjezdová kola je charakteristická jejich tuhost. Ta je důležitá zejména pro ovladatelnost kola. Odezva kola na pohyb jezdce musí být pokud možno okamžitá. Nejpodstatnější je torzní tuhost přední vidlice, ale i boční tuhost rámu, protože jezdec kolo ovládá celým svým tělem.

c) Nízká hmotnost

Některé zdroje uvádí, že vyšší hmotnost sjezdového kola není na škodu. To ale v žádném případě není pravda. Nízká hmotnost je velice důležitá pro snadnou ovladatelnost kola. Výhodou je i nižší neodpružená hmotnost a hladší průjezd terénem. Dále se při jízdě snižují fyzické požadavky na jezdce a zvyšuje se jeho výkonnost.

d) Progresivní charakteristika odpružení

Progresivní odpružení je u sjezdových kol důležité. Zajišťuje dostatečnou citlivost odpružení při jízdě po menších nerovnostech a stálý styk kol s terénem. Zároveň ale při tvrdých dopadech nebo při přejezdu velkých nerovností ve vysoké rychlosti nedochází k úplnému stlačení pružící a tlumící jednotky, tzv. dorazu.

e) Efektivita pohonu

Nevýhodou odpružených kol je nižší efektivita pohonu. Značná část energie vzniklé šlapáním jezdce se maří v odpružení kola, což se projevuje pohupováním kola. U sjezdových kol se tento nedostatek projevuje nejvíce z důvodu velkého zdvihu odpružení. Tento problém lze částečně řešit vhodným umístěním uložení zadní stavby rámu.

7.3 Parametry optimalizace

a) Optimální sjezdová geometrie

Geometrie sjezdového rámu se velice liší od ostatních kol. Současně se ale liší jednotlivá sjezdová kola. Geometrie mnou navrhovaného rámu bude vytvořena s ohledem na mé tělesné proporce.

b) Progresivní charakteristika odpružení

Cílem optimalizace je vytvořit sjezdový rám, který bude mít progresivnější charakteristiku odpružení než je tomu u dnes vyráběných rámu.

7.4 Rozměry kol

V současnosti je v cyklistickém průmyslu nejdiskutovanější téma průměr kol, respektive ráfků a pneumatik. Doposud byla sjezdová kola konstruována zásadně na 26" kola. Dnes

se ale na trhu objevují první sjezdové modely s většími 27,5" koly. Téměř všichni přední výrobci mají rámy na tyto větší kola alespoň ve fázi prototypu, testovaného jezdcí světového poháru.

Výhody větších kol:

- Průchodnost terénem – díky menšímu nájezdovému úhlu kolo snadněji přejíždí nerovnosti.
- Směrová stabilita – větší průměr kola znamená vyšší hmotnost a vyšší moment setrvačnosti. Díky gyroskopickému efektu kolo snadněji drží stálý směr.
- Nižší valivý odpor
- Lepší trakce – je způsobena větší styčnou plochou pneumatiky s terénem.

Nevýhody větších kol:

- Horší akcelerace – opět souvisí s vyšším momentem setrvačnosti. Je potřeba vyvinout větší sílu pro roztočení kol a uvedení celého kola do pohybu.
- Ovladatelnost – díky vyššímu momentu setrvačnosti se s kolem obtížněji zatáčí.
- Vyšší těžiště kola

Pro vlastní návrh sjezdového rámu volím kola o průměru 26" a to zejména proto, že s většími 27,5" koly nemám mnoho zkušeností, které bych při návrhu prakticky uplatnil.

7.5 Geometrie rámu

Geometrií rámu se rozumí jeho základní rozměry. Tyto rozměry vyjadřují vzájemnou polohu částí rámu, ke kterým jsou uchycené ostatní komponenty kola. Geometrie má velký vliv na celkový projev kola při jízdě.

Sjezdová kola se vyznačují zejména delším rozvorem (1150 – 1250 mm) a velkým sklonem přední vidlice (62°-65°), čímž je zajištěna větší stabilita při sjíždění prudkých pasáží. Osa šlapání je umístěna výš, aby bylo umožněno maximální propružení kola. Sedlová trubka končí níž, protože na sjezdovém kole se jezdí převážně ve stoje a vysoký rám by jezdcí neposkytoval dostatečný prostor pro pohyb.

7.5.1 Návrh základních rozměrů rámu

V tabulce 5 jsou uvedeny základní rozměry rámu. Při jejich návrhu jsem vycházel z dosavadních zkušeností s jinými rámy, na kterých jsem měl možnost jezdit. Důraz jsem kladl zejména na stabilitu v náročném terénu, která je zajištěna velkým sklonem přední odpružené vidlice, rozvorem kol a nízko položeným středem šlapání. Některé rozměry jsem upravoval dodatečně při návrhu mechanismu odpružení, aby vznikl dostatečný zástavbový prostor pro tlumící a pružící jednotku, proto jsem sedlovou trubku umístil více dopředu ale s větším sklonem, aby zůstal posed jezdce zachován.

Dříve jsem jezdil na kolech s rozvorem okolo 1180 mm. V současnosti jezdím na kole s rozvorem 1230 mm. Rozdíl je opravdu znatelný a delší rozvor mi celkem vyhovuje. Vzhledem k tratím, na kterých jezdím a které mají velké množství zatáček, jsem se rozhodl tuto hodnotu nepatrně snížit. Rozvor kol jsem tedy zvolil 1220 mm.

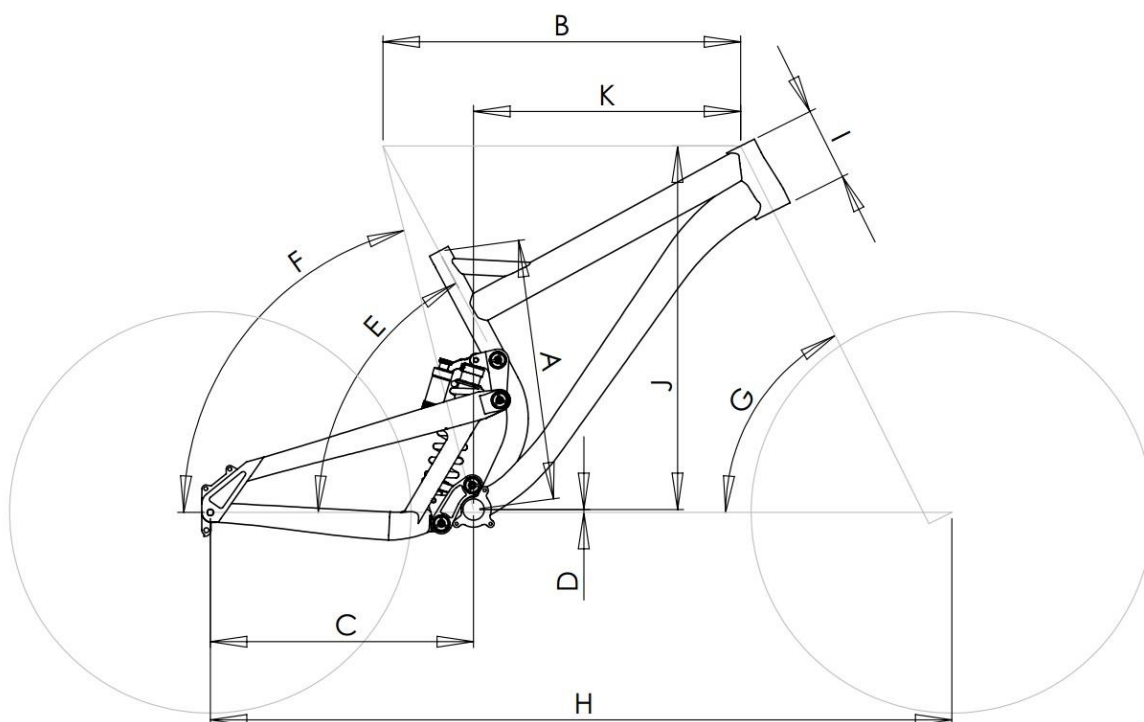
V nedávné době jsem jezdil na kolech s úhlem hlavové trubky 64° a 63° . Obě hodnoty mi celkem vyhovovaly a nezaznamenal jsem mezi nimi zásadní rozdíl, proto jsem zvolil hodnotu $63,5^\circ$.

Délku zadní stavby rámu jsem se pokusil vytvořit co nejkratší, aby byla zachována obratnost celého kola. S ohledem na zástavbový prostor tlumící a pružící jednotky jsem tento rozměr zvolil 433 mm.

Osu šlapání jsem umístil o něco níže, než tomu bylo u mých kol, abych snížil těžiště celého kola a zajistil větší stabilitu.

Tabulka 5: Základní rozměry navrhovaného rámu

	Popis (rozměry jsou v mm, není-li uvedeno jinak)	Rozměr
A	Délka sedlové trubky (od středu po vrchol)	429
B	Délka horní trubky (horizontální)	588
C	Délka zadní stavby (horizontální)	433
D	Výška osy šlapání nad spojnicí os kol	5
E	Úhel sedlové trubky (skutečný)	62°
F	Úhel sedlové trubky (efektivní)	76°
G	Úhel hlavové trubky	$63,5^\circ$
H	Rozvor	1220
I	Výška hlavové trubky	120
J	Výška od vrcholu hlavové trubky po středové složení	598
K	Dosah	439



Obr. 16: Základní rozměry navrhovaného rámu k tabulce 5

7.5.2 Zobecnění navrhované geometrie

Aby na navrhovaném rámu mohly jezdit osoby různého věku, rozhodl jsem se návrh rozšířit o více rozměrových variant. Z hlediska sériové výroby by nebylo výhodné pro každého jezdce navrhovat zcela odlišnou geometrii. Posed a úchop kola lze jezdcům přizpůsobit i jiným způsobem, než jen geometrií rámu. Největší vliv má v tomto ohledu nastavení polohy sedla, nastavení výšky přední vidlice, šířka a tvar řídítek nebo délka představce (součást, která spojuje řídítka a sloupek řízení).

Základní geometrické rozměry rámu jsem navrhoval subjektivně s přihlédnutím k mé postavě. Se svou výškou 183 cm se blížím k českému průměru, který u mužů činí 180 cm. Proto původní navrhovanou geometrii rámu označím jako střední velikost M.

Dále jsem vytvořil menší velikost (označení S), která bude vhodná pro osoby tělesné výšky okolo 160 cm a větší velikost (označení L) pro osoby nad 190 cm.

Rozdíly v geometrii rámu různé velikosti se projeví pouze na přední části rámu. Rozměry mechanismu odpružení a zavěšení zadního kola jsou pro všechny varianty stejné. Výhodou by byla jednodušší sériová výroba a stejné vlastnosti odpružení.

Tabulka 6: Rozměry všech navrhovaných velikostí rámu

	Popis (rozměry jsou v mm, není-li uvedeno jinak)	S	M	L
A	Délka sedlové trubky (od středu po vrchol)	419	429	439
B	Délka horní trubky (horizontální)	568	588	608
C	Délka zadní stavby (horizontální)	433	433	433
D	Výška osy šlapání nad spojnicí os kol	5	5	5
E	Úhel sedlové trubky (skutečný)	62°	62°	62°
F	Úhel sedlové trubky (efektivní)	76°	76°	76°
G	Úhel hlavové trubky	63,5°	63,5°	63,5°
H	Rozvor	1200	1220	1240
I	Výška hlavové trubky	120	120	120
J	Výška od vrcholu hlavové trubky po středové složení	598	598	598
K	Dosah	419	439	459

7.6 Odpružení rámu

Největší pozornost při navrhování rámu jsem věnoval odpružení a jeho vlastnostem. Odpružení a jeho charakteristika jsou důležitým prvkem sjezdového rámu. Závisí na něm celkové vlastnosti a chování kola zejména v náročném terénu.

7.6.1 Linkage

Linkage je software, který slouží ke dvourozměrné analýze mechanismů odpružení kol případně motocyklů. Výhodou tohoto programu je okamžitý výpočet klíčových charakteristik mechanismu.

Linkage umožňuje pouze statickou a kinematickou analýzu mechanismů. Nepočítá s dynamickým odporem tlumicí jednotky. Pro následnou analýzu i návrh budu uvažovat pouze sílu od pružiny, která má lineární charakteristiku. Tento přístup je výhodný zejména z důvodu snadného porovnání jednotlivých rámu. Veškerou progresivitu tedy zajišťuje mechanismus odpružení.

7.6.2 Požadované vlastnosti odpružení

Největší pozornost při návrhu sjezdového rámu chci věnovat odpružení, které má významný vliv na celkové chování kola v náročném terénu. Na základě dosavadních

zkušeností si stanovím ideální charakteristiku odpružení, které se později pokusím dosáhnout volbou a optimalizací mechanismu.

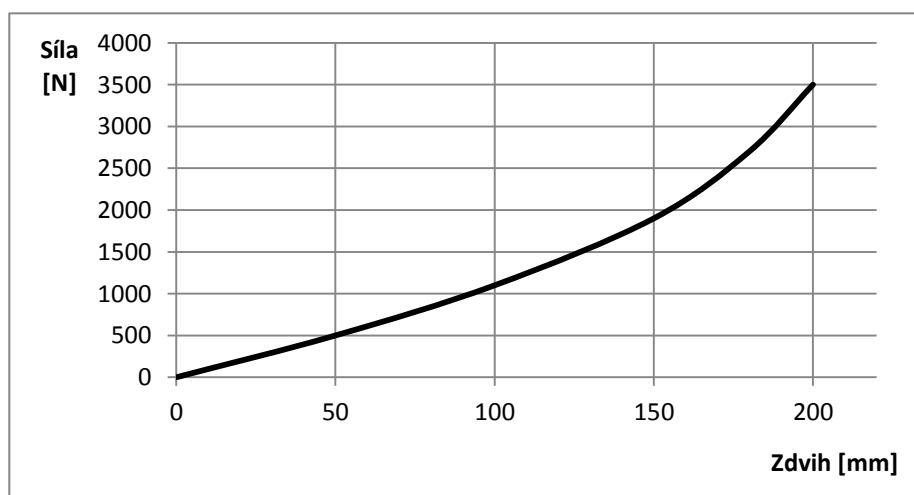
Měkké a zároveň citlivé odpružení je výhodné v první fázi jeho zdvihu, protože zajišťuje stálý kontakt kol s povrchem a pohodlnou jízdu. Zároveň je ale důležité, aby nedocházelo k situacím, kdy je dosaženo konce zdvihu (tzv. dorazu) a to z několika důvodů:

- Bezpečnost jízdy – jezdec je vystaven velkým rázům, což může mít za následek ztrátu kontroly nad kolem a následný pád, který může mít fatální následky.
- Nadměrné namáhání – při dosednutí tlumící a pružící jednotky na doraz dochází ke vzrůstu napětí vlivem velkých setrvačných sil. Životnost rámu i dalších komponentů kola se snižuje. Při mechanickém poškození komponentů je opět ohrožena bezpečnost jezdce.

Z těchto důvodů je vhodný progresivní charakter odpružení. Jeho další výhodou je, že se ke konci zdvihu tlumící jednotka stlačuje rychleji. Tím se zvyšuje hydraulický odpor tlumící kapaliny. [3]

Kola, na kterých jsem doposud jezdil, měla společnou nevýhodu. Charakteristika jejich odpružení nebyla dostatečně progresivní. Nebylo možné dosáhnout citlivosti z počátku zdvihu a zároveň tuhosti u konce zdvihu.

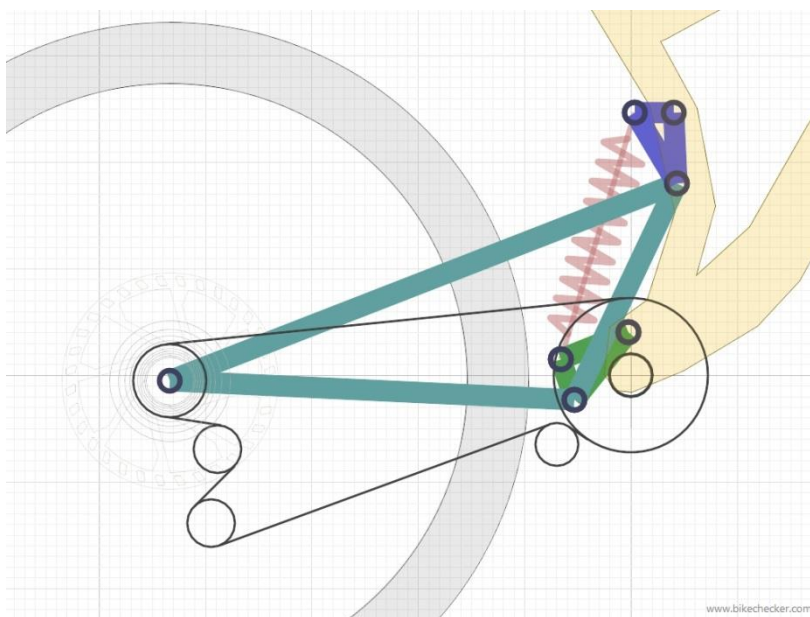
Provedl jsem analýzu těchto rámců v programu Linkage a došel jsem k závěru, že ideální počáteční tuhost odpružení, kdy je zajištěna dostatečná citlivost, je okolo 8 – 10 N/mm. Zároveň síla potřebná ke stlačení mechanismu odpružení o celý zdvih musí být alespoň 3000 N. Celkový zdvih rámu bude v rozsahu 200 – 210 mm.



Graf 1: Ideální charakteristika mechanismu odpružení

7.6.3 Volba mechanismu odpružení

Pro navrhovaný rám jsem zvolil čtyřčepové zavěšení zadního kola. Konkrétně se jedná o mechanismus, který je podobný mechanismu VPP. Ten používají například výrobci Santa Cruz anebo Intense. Změnu jsem ale provedl v uložení tlumiče. Ten bude upevněn k oběma vahadlům, která spojují zadní stavbu s přední částí rámu (viz obrázek 17).



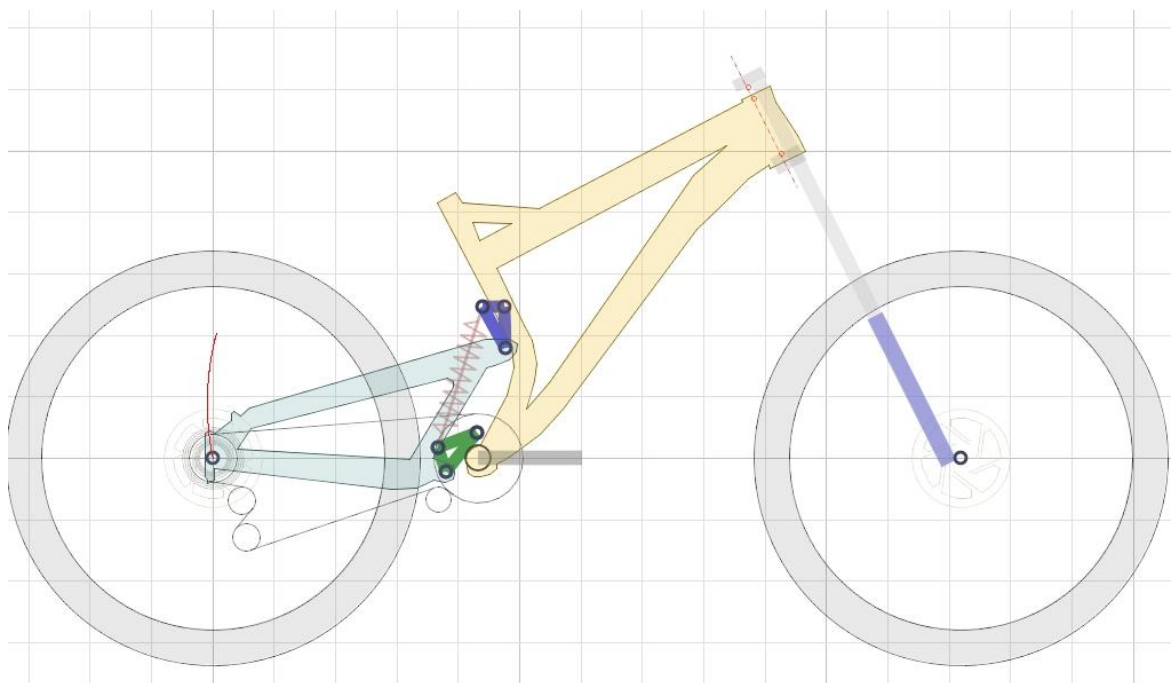
Obr. 17: Schéma mechanismu odpružení

Tento mechanismus jsem zvolil z několika důvodů:

- a) možnost dosažení progresivní charakteristiky
- b) možnost ovlivnit efektivitu pohonu
- c) s tímto mechanismem jsem se v této podobě v praxi nesetkal

7.6.4 Optimalizace mechanismu

Odpružení je tedy realizováno čtyřčepovým mechanismem. V programu Linkage jsem vytvořil dvourozměrný návrh budoucího rámu za použití geometrie z kapitoly 7.5.1.



Obr. 18: 2D návrh rámu

Rozhodl jsem se, že budu odpružení rámu konstruovat pro tlumič standardní délky 9,5" respektive 241,3 mm a o zdvihu 3" respektive 76,2 mm. Jedná se o rozměr tlumiče, který se na sjezdových rámech používá nejčastěji.

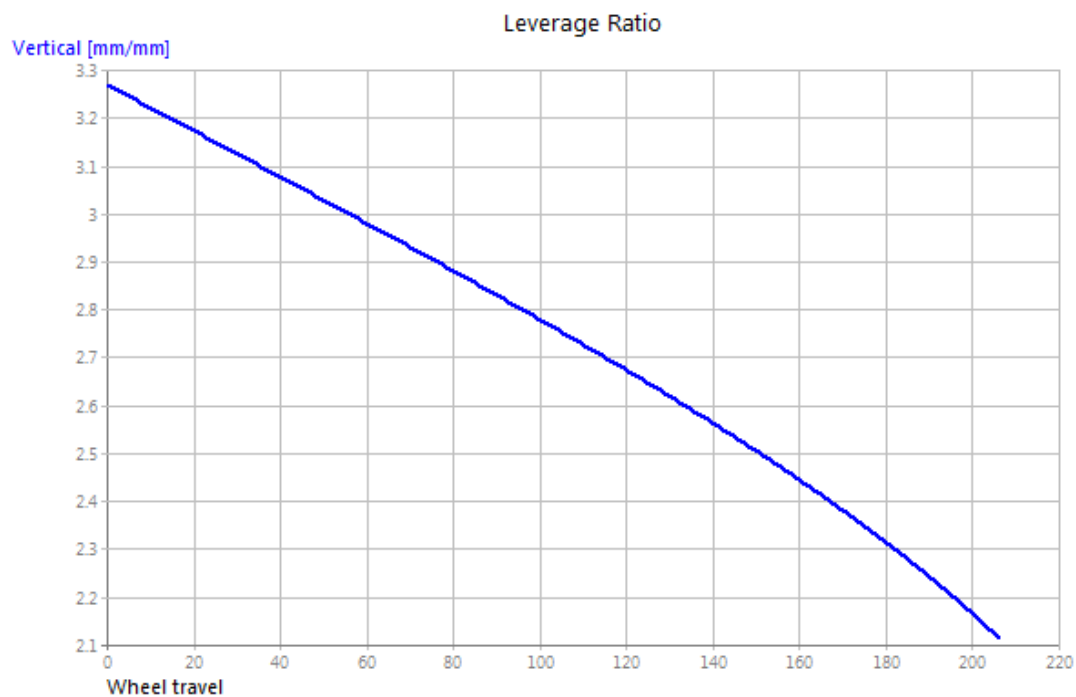
Vhodným umístěním čepů celého mechanismu jsem se pokusil přiblížit požadovaným vlastnostem z kapitoly 7.6.2.

Maximální zdvih zadního kola činí 206 mm. Tato hodnota vyhovuje zadaným parametrům.

Graf 2 znázorňuje převodovou funkci 1. řádu (leverage ratio – volně přeloženo: zdvihový poměr). Konkrétně se jedná o vztah mezi vertikálním posuvem osy zadního kola a stlačením tlumicí a pružící jednotky. Tuto převodovou funkci lze vyjádřit jako:

$$P = \frac{dh_0(h_p)}{dh_p}$$

kde h_0 je vertikální posuv osy zadního kola a h_p je stlačení pružící a tlumicí jednotky.



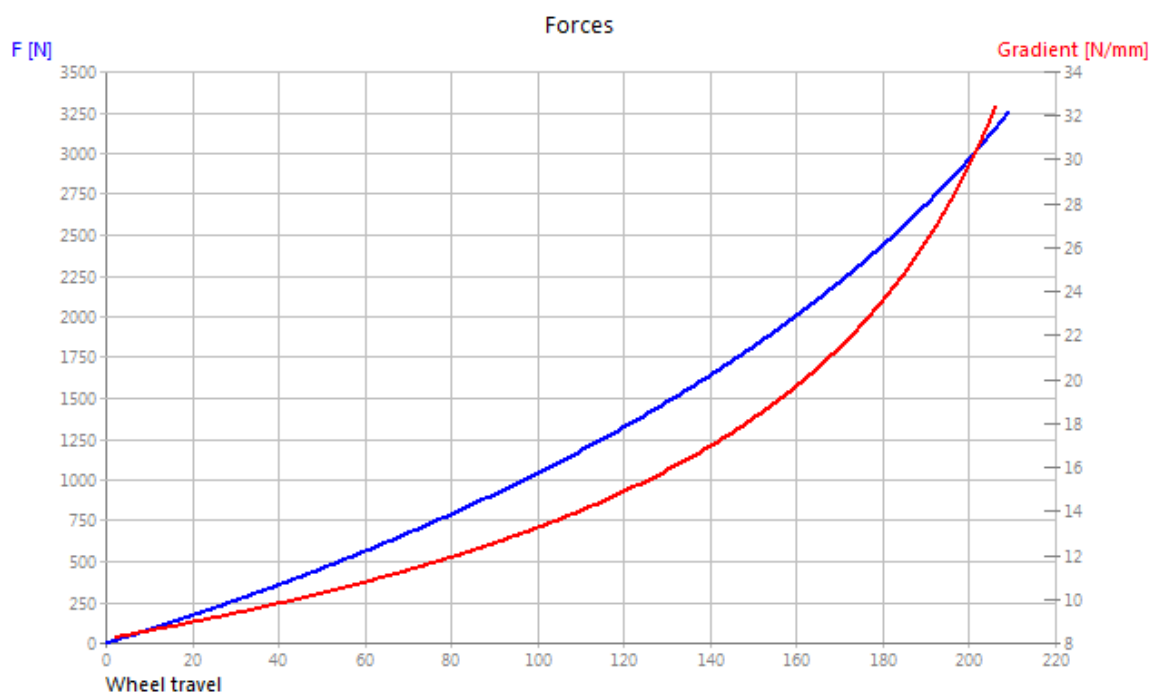
Graf 2: Zdvihový poměr

Dále provedu statickou analýzu mechanismu odpružení, to znamená, že zanedbám hydraulický odpor tlumící jednotky, který se projevuje pouze při dynamické analýze. Dále uvažuji pouze sílu od pružiny s lineární charakteristikou. Její průběh je znázorněn v grafu 3. Volím pružinu s tuhostí 500 lbs/in, což odpovídá přibližně 88 N/mm.



Graf 3: Charakteristika použité pružiny

Nyní jsem získal celkovou charakteristiku mechanismu, která je znázorněna v grafu 4. Její průběh je velmi podobný navrhovanému průběhu z kapitoly 7.6.2. Počáteční tuhost je 8,22 N/mm a síla potřebná ke stlačení mechanismu o celý zdvih je 3157 N. Tyto hodnoty naprosto splňují požadavky na mechanismus odpružení z kapitoly 7.6.2.



Graf 4: Celková charakteristika mechanismu

8 Konstrukční řešení rámu

Celou konstrukci rámu jsem vymodeloval v programu SolidWorks 2012. Model prototypu jsem vytvářel s ohledem na atraktivní design, jednoduchou konstrukci a údržbu. Rám je konstruován tak, aby byl kompatibilní s co nejširší škálou komponentů sjezdových kol.

V modelu je použit tlumič FOX DHX 5, který jsem volně stáhl ze serveru grabcad.com.

Přední rámový trojúhelník, zadní stavba i vahadla budou zhotoveny ze slitiny hliníku 7075-T6. Tento materiál volím pro jeho nízkou hustotu a vysokou pevnost v tahu, která činí přibližně 500 MPa.

8.1 Přední rámový trojúhelník

Přední část rámu je konstruována jako svarek z tvářených a obráběných dílů.

Hlavová trubka je typu trapered. To znamená, že spodní vnitřní průměr je větší než horní. Tuto konstrukci jsem zvolil z důvodu kompatibility s vidlicemi, které mají kónicky tvarovaný sloupek řízení. Ten se používá u jednokorunkových vidlic z důvodu vyšší tuhosti a pevnosti.

Rám je určen pro sedlovou trubku o průměru 31,6 mm, což je nejpoužívanější standard.

Domek pro uložení osy šlapání je široký 83 mm a je opatřen standardizovaným úchytem pro napínák řetězu. Tento úchyt nese označení ISCG 05.



Obr. 19: Konstrukční řešení předního rámového trojúhelníku

8.2 Zadní stavba

Zadní stavba je opět konstruována jako svarek z tvářených a obráběných dílů.

Je určena pro náboj zadního kola o šířce 150 mm a o průměru osy 12 mm.

Její levá část je opatřena IS (International Standard) úchytem pro kotoučovou brzdu.



Obr. 20: Konstrukční řešení zadní stavby rámu

Uložení přehazovačky (měniče převodů) je řešeno výměnnou součástí zvanou patka. Důležitá je právě možnost výměny této části rámu, protože snadno dochází k jejímu mechanickému poškození vlivem pádu nebo nárazem přehazovačky do pevné překážky.

8.3 Vahadla

Vahadla jsou součásti spojující zadní stavbu s předním rámovým trojúhelníkem. Zároveň u zvoleného mechanismu odpružení slouží pro uložení tlumící a pružící jednotky. Byla by zhotovena obráběním z jediného kusu materiálu, čímž by byla zajištěna jejich maximální pevnost.

Vahadla jsou na rámu použita celkem čtyři, dvě horní a dvě dolní. Levé a pravé se od sebe nepatrně liší v místě uložení tlumící a pružící jednotky.



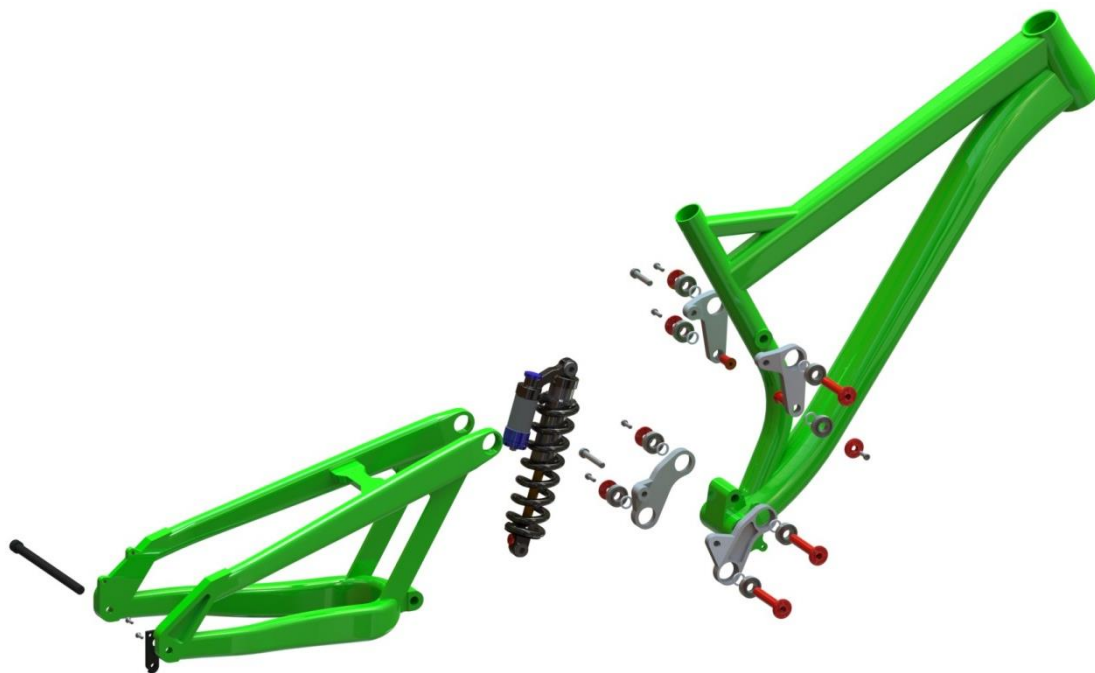
Obr. 21: Levé horní vahadlo



Obr. 22: Levé spodní vahadlo

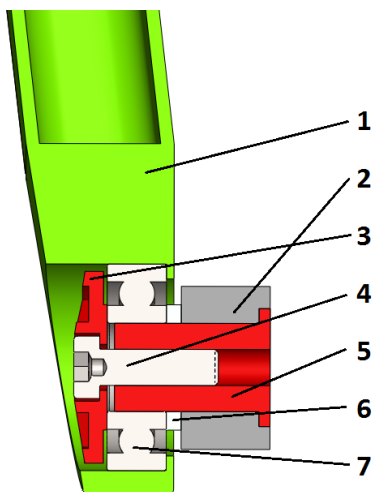
8.4 Pohyblivá spojení

Rám jako celek sestává z předního rámového trojúhelníku, zadní stavby a čtyř vahadel a tlumící a pružící jednotky. Celá tato sestava je pohyblivě sestavena pomocí čepů a ložisek. Ložisek je celkem 8 a zvolil jsem jednořadá kuličková 6001 z obou stran zakrytá, aby nedocházelo k průniku nečistot. Volil jsem ložiska s několikanásobně vyšší statickou únosností než je tomu u ložisek běžně používaných na většině rámu. Pokud by se při provozu prototypu rámu ukázalo, že ložiska nepodléhají žádnému opotřebení, bylo by možné zvolit ložiska méně únosná s nižší hmotností.

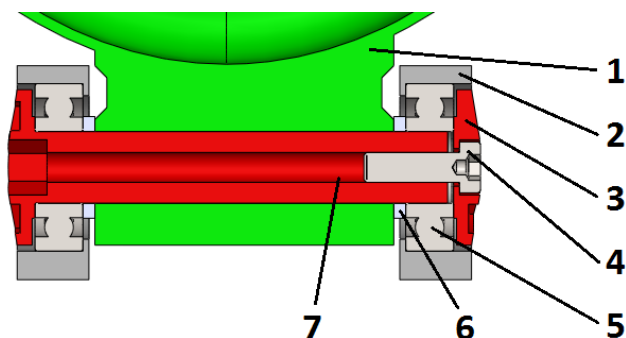


Obr. 23: Rozložená sestava rámu

Pro pohyblivé spojení částí rámu jsem volil co nejjednodušší konstrukci pro snadnou výrobu nebo montáž. Na obrázku 24 je zobrazeno konstrukční řešení pohyblivého spojení zadní stavby a horního vahadla. Schéma ostatních tří spojů znázorňuje obrázek 25.



Obr. 24: Spoj zadní stavby a horního vahadla,
1 – zadní stavba, 2 – horní vahadlo, 3 – víčko,
4 – šroub M5, 5 – čep, 6 – podložka, 7 –
ložisko



Obr. 25: Spoj zadní stavby nebo přední části
rámu s vahadlem, 1 – zadní stavba/přední
část rámu, 2 – vahadlo, 3 – víčko, 4 – šroub
M5, 5 – ložisko, 6 – podložka, 7 – čep

9 Hodnocení navrhovaného řešení

Pro zhodnocení navrhovaných řešení jsem se rozhodl provést porovnání navrhnutého rámu s jinými dnes vyráběnými rámy, zejména s těmi, na kterých jsem měl možnost jezdit a závodit anebo s nejběžněji používanými.

9.1 Sag

Sag, neboli česky pokles, je hodnota stlačení tlumící a pružící jednoty při nasednutí jezdce na kolo. Podle této hodnoty se provádí správné nastavení tuhosti odpružení a měla by se pohybovat přibližně v rozmezí 20 – 30 % z celkového zdvihu tlumiče.

Aby bylo možné objektivně porovnat charakteristiky odpružení různých ráků, nastavím u všech hodnotu sag na 25 % při hmotnosti jezdce 80 kg. Rozložení jeho hmotnosti mezi přední a zadní kolo uvažuji 40 % a 60 %. Přesné hodnoty sag dosáhnou nastavením tuhosti pružiny, spočítané pomocí programu Linkage.

9.2 Porovnání s vybranými rámy

Pro zhodnocení a porovnání získaných výsledků jsem vybral tři sjezdové rámy. Všechny jsou střední velikosti M.

9.2.1 GT Fury

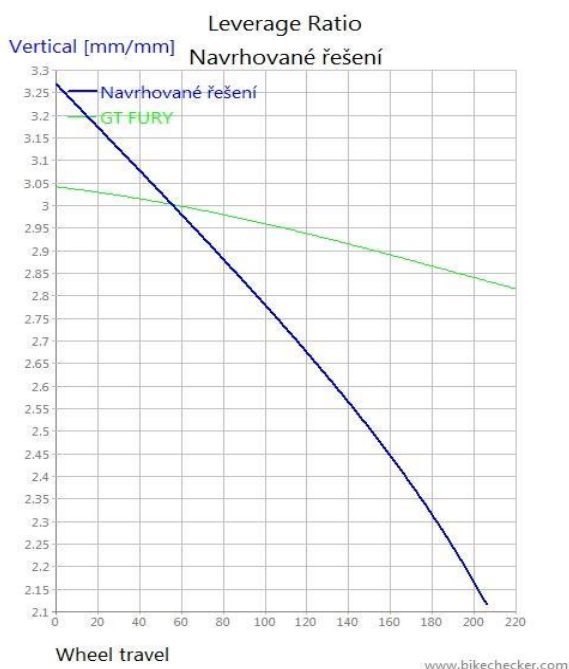
Jako první jsem pro porovnání zvolil rám, na kterém v současnosti jezdím. Jedná se o sjezdový rám značky GT, konkrétně o model Fury modelový rok 2014. Tímto rámem jsem byl částečně ovlivněn při tvorbě této práce. Projev jeho odpružení se totiž jeví jako poměrně lineární a tomu jsem chtěl při návrhu rámu předejít. Zároveň mě ale zaujala jeho geometrie.

9.2.1.1 Geometrie

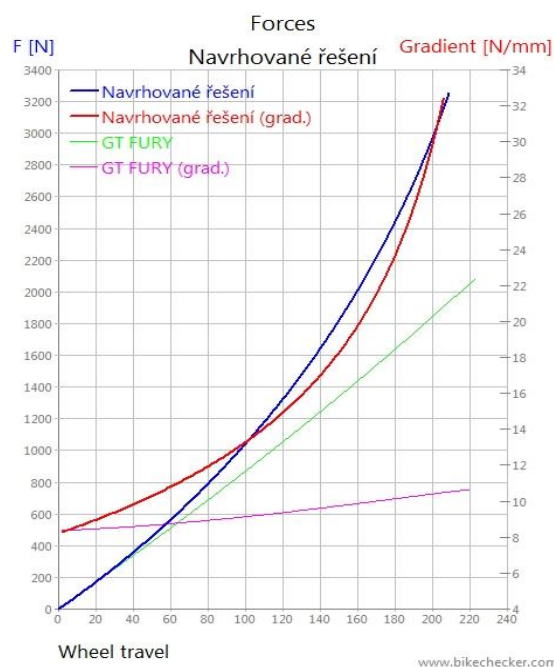
Rám GT Fury má poměrně velký rozvor kol a v náročném terénu se kolo chová velice stabilně. Podobnou koncepci jsem volil i pro navrhovaný rám, který má rozvor kol o pouhých 11 mm kratší. Porovnání nejdůležitějších rozměrů je v tabulce 7.

9.2.1.2 Odpružení

Zdvih zadního kola rámu GT Fury je 220 mm. Využívá jednočepového zavěšení zadního kola s nezávisle uloženým středem šlapání. Jak jsem již uváděl, charakteristika jeho odpružení je spíše lineární. To je patrné z grafu 5, který znázorňuje zdvihové poměry, respektive převodové funkce 1. řádu navrhovaného rámu i rámu GT Fury. Zatímco u navrhovaného řešení se tento poměr v průběhu zdvihu výrazně mění, u GT Fury se pohybuje jen v rozmezí od 3,04 do 2,82. V grafu 6 pak můžeme vidět celkové síly, potřebné ke stlačení rámu, za předpokladu hodnoty sag z kapitoly 9.1. Hodnoty počátečních tuhostí (gradient) a sil potřebných ke stlačení o celý zdvih jsou uvedeny v tabulce 8.



Graf 5: Zdvihové poměry



Graf 6: Celkové silové charakteristiky odpružení

9.2.2 Specialized Demo

Značka Specialized je jedním z nejznámějších světových výrobců jízdních kol. Jejich sjezdový model Demo je velmi populární. Používá ho velké množství jezdců a to rekreačně i závodně. Na tomto kole jsem jezdil v minulé sezoně.

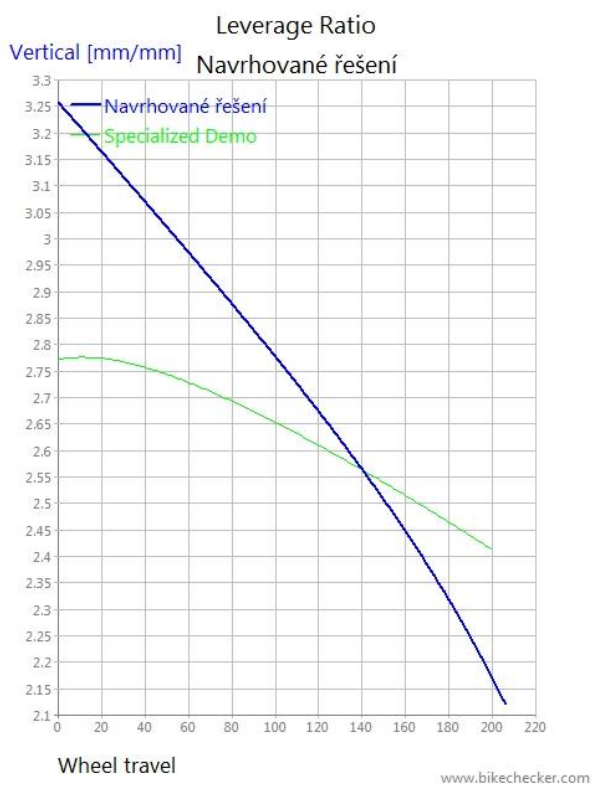
9.2.2.1 Geometrie

Většina parametrů tohoto rámu zapadá spíše do průměru. To samé platí i o geometrii, která je koncipována tak, aby byl rám co možná nejuniverzálnější. Oproti navrhovanému

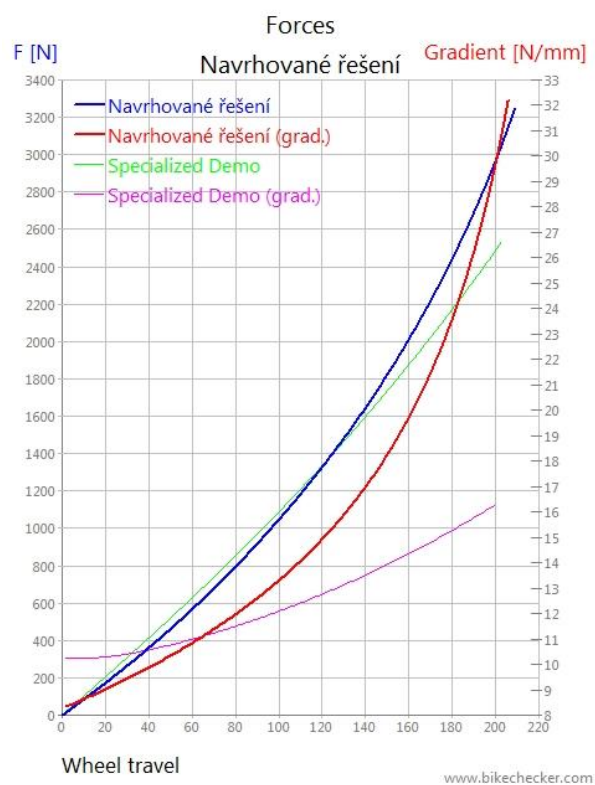
rámu má o 29 mm kratší rozvor kol. Díky tomu je Specialized Demo méně stabilní, ale na druhou stranu je takzvaně hravější, což ocení zejména rekreační jezdci.

9.2.2.2 Odpružení

Specialized Demo využívá FSR systém zavěšení zadního kola. Z grafu 7 lze vidět, že se zdvihový poměr tohoto rámu v průběhu zdvihu příliš nemění. Celková charakteristika odpružení je mírně progresivní, ale síla potřebná ke stlačení mechanismu odpružení o celý zdvih (200 mm) je podstatně nižší než u navrhovaného řešení. Zároveň je počáteční tuhost mechanismu rámu Specialized Demo vyšší.



Graf 7: Zdvihové poměry



Graf 8: Celkové silové charakteristiky odpružení

9.2.3 AGang Ninja DH

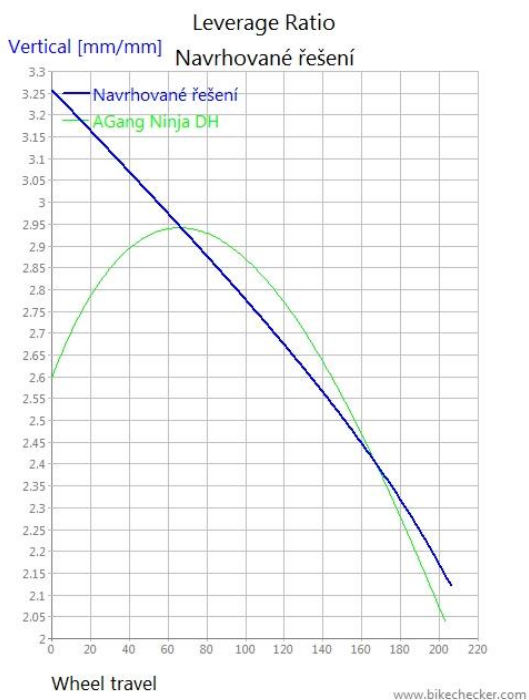
AGang je poměrně mladá česká značka, která vznikla jako odnož známější značky Author. Rám Ninja DH jsem vybral zejména proto, že je v současné době v České republice velice populární.

9.2.3.1 Geometrie

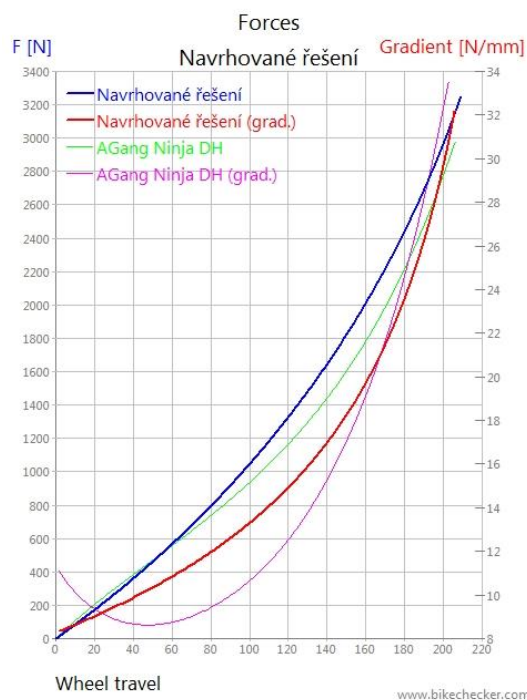
Geometrie Ninja DH je celkově spíše menší a to jak rozvorem, tak výškou posedu. Naopak osa šlapání je umístěna o něco výše, než u navrhovaného řešení, což snižuje stabilitu celého kola. Podstatným nedostatkem také je, že se Ninja nevyrábí ve větší velikosti L a pro jezdce se vzrůstem nad 190 cm není vhodnou volbou.

9.2.3.2 Odpružení

Rám využívá čtyřčepového mechanismu odpružení zadního kola s celkovým zdvihem 200 mm. Průběh odpružení je poměrně zvláštní. V první fázi zdvihu se odpružení chová degresivně a v druhé části progresivně. To je možné nejlépe vidět z grafu 9. Zdvihový poměr je nejdříve rostoucí a poté klesající. Celková charakteristika rámu se příliš neliší od navrhovaného řešení a to zejména progresivním chováním ke konci zdvihu. I přes to je maximální síla u AGang Ninja o něco nižší než u navrhovaného řešení, protože rozdíl ve zdvihu obou rámu je 6 mm ve prospěch navrhovaného řešení.



Graf 9: Zdvihové poměry



Graf 10: Celkové silové charakteristiky odpružení

9.2.4 Tabulky celkového srovnání

Tabulka 7: Porovnání nejdůležitějších rozměrů

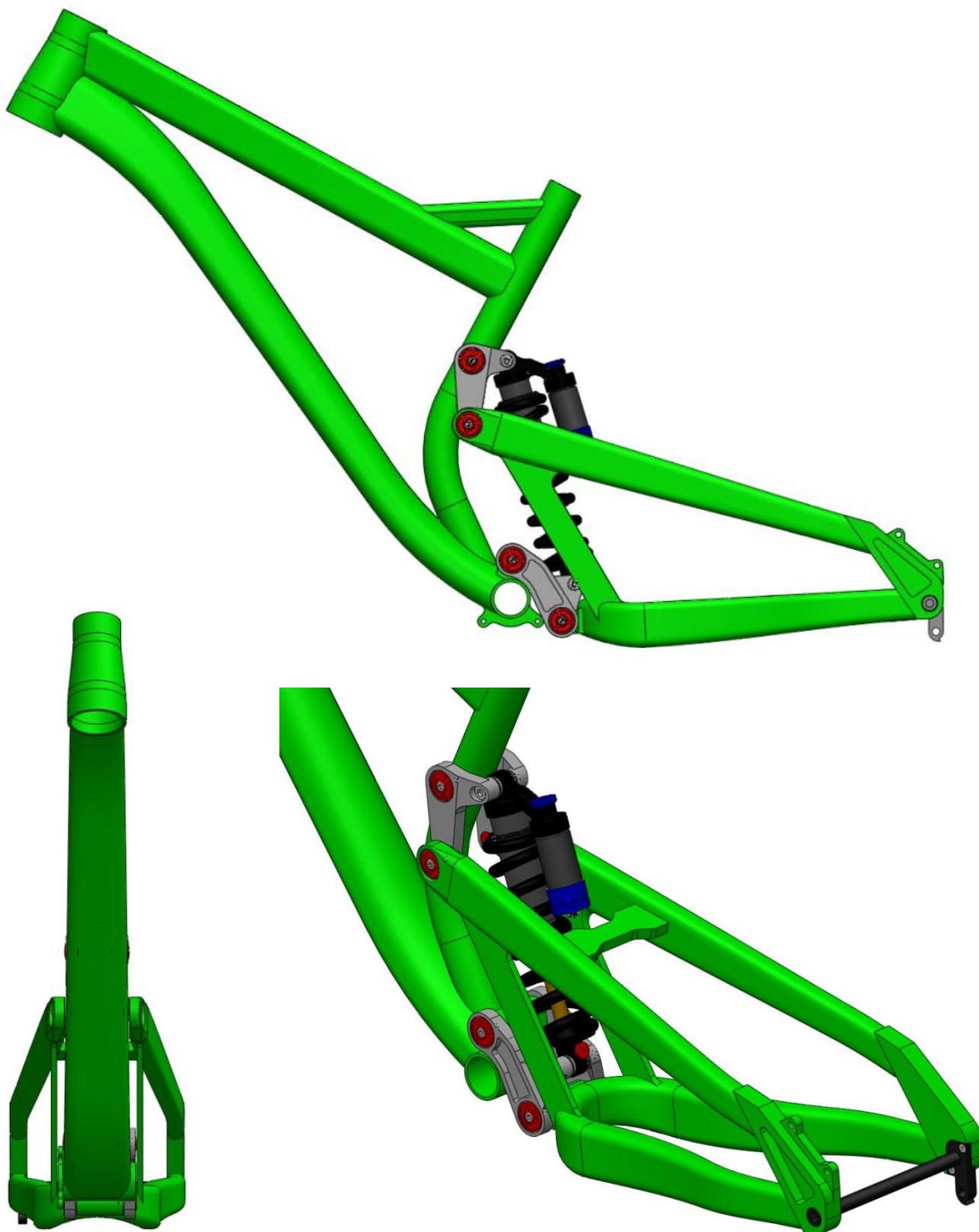
Rozměr	Popis (rozměry jsou v mm, není-li uvedeno jinak)	Navrhované řešení	GT Fury	Specialized Demo	AGang Ninja DH
A	Délka sedlové trubky (od středu po vrchol)	429	460	419	410
C	Délka zadní stavby	433	432	421	430
D	Výška osy šlapání nad spojnici os kol	5	6	12	15
G	Úhel hlavové trubky	63,5°	63°	64°	64°
H	Rozvor	1220	1231	1191	1200

Kompletní geometrie porovnávaných rámců je v přílohách 1-3.

Tabulka 8: Porovnání základních parametrů odpružení

	zdvih [mm]	počáteční tuhost odpružení [N/mm]	síla pro stlačení o celý zdvih [N]
Navrhované řešení	206	8,22	3157
GT Fury	220	9,48	2055
Specialized Demo	200	9,31	2255
AGgang Ninja DH	200	11,62	2856

10 Model rámu sjezdového kola v programu SolidWorks



Obr. 26: Model rámu sjezdového kola v programu SolidWorks

11 Závěr

V úvodní části práce jsem čtenáře uvedl do problematiky, která pro bakalářskou práci není úplně typická. Začal jsem rozdělením základních cyklistických disciplín, aby čtenář pochopil, že sjezd na horském kole není zcela běžnou disciplínou a vyžaduje poměrně specifickou konstrukci celého kola. Dále jsem popsal historický vývoj jízdních kol i horské cyklistiky. Nakonec jsem uvedl základní konstrukční řešení odpružení předního i zadního kola.

Primárním cílem této práce ale bylo navrhnout a vytvořit 3D model rámu sjezdového kola, který by splňoval mé osobní požadavky. Návrh probíhal ve třech fázích. První fáze bylo vytvoření základní geometrie rámu. V této části jsem zohlednil svoji výšku a navrhl rám tak, aby byla zajištěna celková stabilita kola a snadné ovládání. V druhé fázi jsem se zaměřil na odpružení zadního kola. Pomocí vhodné volby mechanismu odpružení a jeho rozměrů se mi podařilo dosáhnout dostatečně progresivní charakteristiky odpružení. K optimalizaci mechanismu jsem použil program Linkage X3, který je určen právě pro analýzu a návrh odpružení rámu jízdních kol. V poslední fázi jsem realizoval konstrukci celého rámu v programu SolidWorks 2012. Snažil jsem se rám vytvořit tak, aby vyhovoval jak po vzhledové stránce, která je u jízdních kol stejně důležitá, jako například u automobilů, tak po stránce technické.

V poslední části práce jsem navrhované řešení rámu porovnával se třemi vybranými rámy různých výrobců. Porovnání jsem provedl ve dvou rovinách. Nejprve byla srovnána základní geometrie a popsán vliv rozdílů na chování kol při jízdě. Poté bylo srovnáno odpružení prostřednictvím programu Linkage X3. Základní parametry geometrie a odpružení jsou srovnány v přehledných tabulkách 7 a 8.

12 Seznam použité literatury

Tištěné zdroje

- [1] BALLANTINE, Richard a Richard GRANT. *Velká kniha o bicyklech*. 1. vyd. Bratislava: Gemini, 1993. ISBN 80-7161-011-9.
- [2] HRUBÍŠEK, Ivo. *Horské kolo od A do Z*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992. ISBN 8003006783.
- [3] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1601-7.
- [4] DRASTÍK, František. *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu*. 2. dopl. vyd. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 80-85780-95-X.

Internetové zdroje

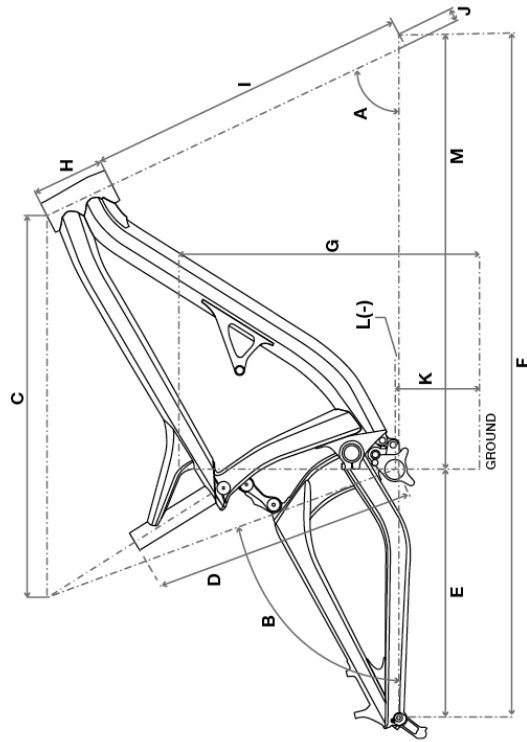
- [5] Historie cyklistiky. *Kolemkola* [online]. © 2008- [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://kolemkola.cz/historie-cyklistiky.html>
- [6] *Pravidla pro mtb v r. 2014: Všeobecná pravidla*. 2014.
- [7] Historie jízdního kola. *Ekorider* [online]. © 2010- [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://ekorider.webnode.cz/products/historie-jizdniho-kola/>
- [8] Kola 2014. Trek - oficiální stránky kol trek v ČR [online]. © 2014- [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.trek-bikes.cz/kola-2014/s-8>
- [9] Cooking and cycling. *Cycling is a good for you* [online]. 2010-02-13 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://cyclingisgoodforyou.blogspot.cz/2010/02/>
- [10] *Národní technické muzeum* [online]. © 2000-2014 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.ntm.cz/muzeum/>
- [11] Aventures Bicycle. *Cycling Humanum Est* [online]. © 2007- [cit. 2014-06-20]. Dostupné z: <http://www.aventuresbicycletales.org/english/cyclinghumanumest.html>

- [12] Bike suspension. *Ride Fox* [online]. © 2013- [cit. 2014-06-20]. Dostupné z: <http://www.ridefox.com/subhome.php?m=bike&ref=topnav>
- [13] Manitou dorado pro review. *Downhill News* [online]. © 2011- [cit. 2014-06-20]. Dostupné z: <http://www.downhillnews.com/reviews/2013/7/14/>
- [14] News. *Dirt Magazine* [online]. [2012] [cit. 2014-06-20]. Dostupné z: <http://dirtmountainbike.com/news/fresh-produce-orange-322.html#!1icP2>
- [15] News. *Dirt Magazine* [online]. [2012] [cit. 2014-06-20]. Dostupné z: <http://dirtmountainbike.com/news/fresh-produce-saracen-myst-2013.html#!1hBkr>
- [16] Fotoalbum auf MTB-News. *Internet bike community* [online]. © 1999-2014 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://fotos.mtb-news.de/p/1420321>
- [17] Products. *BagusBike* [online]. © 2012- [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.bagusbike.com/>
- [18] Bicycle suspension. *Wikipedia* [online]. [2014] [cit. 2014-06-20]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_suspension
- [19] *Cycling news* [online]. © 2006 - 2008 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://autobus.cyclingnews.com/>
- [20] *Sick Lines* [online]. © 2013- [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.sicklines.com/2013/02/06/>

FURY

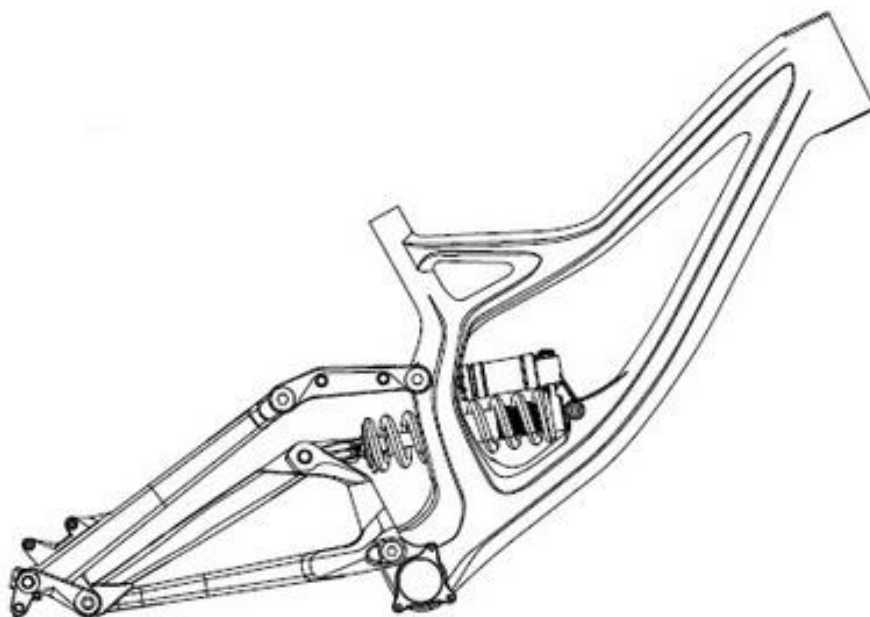
WORLD CUP / TEAM / EXPERT / ELITE / FRAME

Příloha 1: geometrie GT Fury



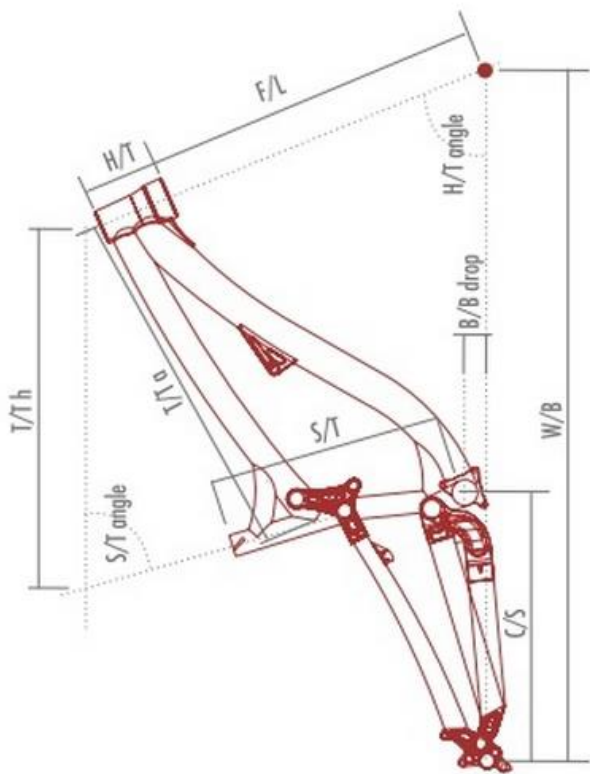
SIZE	D SEAT TUBE LENGTH	C HORIZONTAL TOP TUBE LENGTH	G STAND OVER HEIGHT	A HEAD ANGLE	B SEAT ANGLE	E CHAIN STAY LENGTH	H HEAD TUBE LENGTH	K BOTTOM BRACKET HEIGHT	J FORK OFFSET (RAKE)	F WHEEL BASE	L BB DROP	M FC
	mm	mm	mm	DEGREES	DEGREES	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
XS	440	594	407	63	70	432	125	349	45	1167	-6	735
S	450	631	409	63	70	432	125	349	45	1204	-6	772
M	460	657	413	63	70	432	125	349	45	1230	-6	798
L	470	682	413	63	70	432	125	349	45	1255	-6	823

Příloha 2: geometrie Specialized Demo



FRAME SIZE	S	M	L
SEAT TUBE LENGTH - CENTER TO TOP (MM)	394	419	458
TOP TUBE LENGTH (HORIZONTAL) (MM)	560	580	597
TOP TUBE LENGTH (ACTUAL) (MM)	523	532	545
CHAINSTAY LENGTH (MM)	421	421	421
BOTTOM BRACKET HEIGHT - LOW SETTING (MM)	338	338	338
BOTTOM BRACKET HEIGHT - MID SETTING (MM)	343	343	343
BOTTOM BRACKET HEIGHT - HIGH SETTING (MM)	353	353	353
SEAT TUBE ANGLE (ACTUAL) (°)	61	61	61
SEAT TUBE ANGLE (EFFECTIVE) (°)	76	76	76
HEAD TUBE ANGLE (°)	64	64	64
WHEEL BASE (MM)	1171	1191	1208
STANDOVER HEIGHT (MM)	715	717	721
HEAD TUBE HEIGHT (MM)	112	112	112
HANDLEBAR WIDTH (MM)	750	750	750
STEM LENGTH (MM)	45	45	45
CRANK LENGTH (MM)	165	165	165
SEATPOST LENGTH (MM)	300	300	300
STACK (MM)	593	593	593
REACH (MM)	410	430	447
GROUND-TOP (MM)	931	931	931

Příloha 3: geometrie AGang Ninja DH



VELIKOST	S (15,5")	M (16")
MIN. POSTAVA [cm]	160	175
MAX. POSTAVA [cm]	180	195
S/T [mm]	395	410
T/T H [mm]	595	615
T/T A [mm]	562	582
H/T [mm]	110	110
C/S [mm]	430	430
W/B [mm]	1180	1200
S/TA [°]	67	67
H/TA [°]	64	64
F/L [mm]	568	568
B/B DROP [mm]	-15	-15
B/B WIDTH [mm]	83	83
SEDLOVKA Ø [mm]	30,9	30,9
OBJÍMKA Ø [mm]	34,9	34,9
SLOUPEK ŘÍZENÍ	1 1/8"	1 1/8"